昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, March 2014, 57(3): 373 – 378　　ISSN 0454-6296

温度对意大利蝗呼吸代谢的影响

王冬梅，李　娟，李　爽，扈鸿霞，季　荣*

（新疆师范大学生命科学学院，新疆特殊环境物种多样性应用与调控教育厅重点实验室，乌鲁木齐，830054）

摘要：【目的】意大利蝗 *Calliptamus italicus* L. 是新疆荒漠、半荒漠草原的主要危害种类，前期研究表明其发生与新疆气候变暖显著相关，本研究进一步探讨气候变暖条件下意大利蝗的呼吸代谢适应机制。【方法】应用多通道昆虫呼吸仪测定了 15, 20, 25, 30 和 35℃不同温度条件下意大利蝗成虫的呼吸率、代谢率、CO_2 释放率、Q_{10}（每升高10℃呼吸率的变化幅度）及呼吸商并分析其变化特征。【结果】15℃时意大利蝗成虫的呼吸率、代谢率、CO_2 释放率均显著低于其他温度（$P<0.01$），35℃时 3 项指标值显著高于其他温度（$P<0.01$），表明低于 15℃和高于 35℃的温度条件都对意大利蝗的呼吸代谢产生明显影响；在 20 ~ 30℃之间，意大利蝗的呼吸率、代谢率及 CO_2 释放率变化幅度小且平稳，差异均不显著（$P>0.01$），表明该温度范围是意大利蝗生长发育的适宜温度条件。不同温度下意大利蝗呼吸率的 Q_{10} 值显示，20 ~ 30℃温度范围内的 Q_{10} 值最小，为 1.03，15 ~ 25℃的 Q_{10} 值为 1.43，25 ~ 35℃的 Q_{10} 值最大，为 2.42，说明意大利蝗的呼吸代谢活动对温度变化敏感，并表明 20 ~ 30℃是意大利蝗生长发育的适宜范围。各温度条件下意大利蝗呼吸商的差异不显著（$P>0.01$），平均为 0.9450，判断意大利蝗呼吸代谢消耗的底物主要为糖类物质。【结论】意大利蝗生长发育的适宜温度范围是 20 ~ 30℃，预示着在气候持续变暖背景下，意大利蝗仍将是新疆草原最重要的生物灾害之一。

关键词：意大利蝗；呼吸代谢；温度；呼吸率；代谢率；CO_2 释放率

中图分类号：Q964　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2014)03-0373-06

Effects of temperature on the respiratory metabolism of *Calliptamus italicus* (Orthoptera: Acrididae)

WANG Dong-Mei, LI Juan, LI Shuang, HU Hong-Xia, JI Rong* (Laboratory for Biodiversity Application and Management of Xinjiang Education Department, College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: 【Aim】*Calliptamus italicus* is a serious plague in arid and semi-arid grasslands of Xinjiang. Previous studies claimed that its outbreak is closely related to climate warming in Xinjiang since 1980s. This research aimed to explore the effect of temperature increasing on the respiratory metabolism of *C. italicus*. 【Methods】We detected the respiratory rate, metabolic rate, CO_2 release rate, Q_{10} (rangeability of the respiratory rate per 10℃ rising) and the respiratory quotient of *C. italicus* adults by using Sable Systems at different temperatures (15, 20, 25, 30 and 35℃). 【Results】The respiratory rate, metabolic rate and CO_2 release rate of the locust all increased as the temperature went up, with the values at 15℃ significantly lower than at the other temperatures ($P<0.01$), but significantly higher at 35℃ ($P<0.01$), suggesting that both the conditions below 15℃ and over 35℃ have significant impacts on *C. italicus*. However, the respiratory rate, metabolic rate and CO_2 release rate measured between 20℃ and 30℃ were not significantly different ($P>0.01$), revealing that this temperature range is suitable for *C. italicus* development. The values of respiratory rate (Q_{10}) at different temperatures showed that *C. italicus* is sensitive to temperature change. The Q_{10} value reached the maximum (2.42) when the temperature ranged from 25℃ to 35℃, and the minimum (1.03) from 20℃ to 30℃, suggesting that the temperature ranging from 20℃ to 30℃ is the optimal condition for *C. italicus* development. With an average of 0.9450, the respiratory quotient has no significant difference among different temperature treatments ($P>0.01$), suggesting that carbohydrates are consumed during respiration. 【Conclusion】Temperature between 20℃ and 30℃ is suitable for growth and development of *C. italicus*, and the

基金项目：国家国际科技合作计划项目(2010DFA92720)；国家自然科学基金项目(U1120301)；科技支疆项目(201291136)

作者简介：王冬梅，女，1991 年生，甘肃武威人，硕士研究生，研究方向为生物灾害生态学，E-mail：wdmxj118@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: jirong@xjnu.edu.cn

收稿日期 Received: 2013-11-04；接受日期 Accepted: 2014-02-26

continuing warming would still make *C. italicus* as one of the important pests in Xinjiang grasslands.
Key words: *Calliptamus italicus*; respiratory metabolism; temperature; respiratory rate; metabolic rate; CO_2 release rate

呼吸代谢是昆虫最重要的生理生态特征之一,国内外已有诸多关于昆虫呼吸代谢的研究报道(Hamilton, 1964; 吴坤君和龚佩瑜,1984;戈峰和陈常铭,1990; Moffatt, 2000; Gillooly *et al*., 2001; Lighton and Joos, 2002; Clarke and Fraser, 2004; Kolluru *et al*., 2004; Grown and Gaston, 2007; 高峰等,2007;陈爱瑞等,2011)。温度是影响昆虫呼吸代谢活动的重要因素之一(戈峰,1991),在适宜的温度范围内,昆虫体内各个代谢环节处于最协调状态,当低于或超过适宜的温度范围而处于胁迫状态时,昆虫的呼吸代谢将会受到影响,昆虫会调整呼吸代谢水平以提高自身对温度胁迫的适应能力(庞雄飞,1963)。

自 20 世纪 80 年代,气候变暖导致全球范围内病虫害趋于严重发生(Carstens and Knowles, 2007; Kang *et al*., 2009; Trumble and Butler, 2009; Barton, 2010; Johnson *et al*., 2010; Ziter *et al*., 2012),并将持续成为病虫害发生的驱动力(Maistrella *et al*., 2006; Guo *et al*., 2009; Thomson *et al*., 2010)。意大利蝗 *Calliptamus italicus* L. 是新疆荒漠半荒漠草原的优势危害种类,每年给新疆的畜牧业经济、生态和社会造成严重的损失(张泉等,1995)。前期研究表明新疆气候变暖有利于意大利蝗虫灾害的发生,两者存在密切的相关性(杨洪升等,2007,2008),但温度升高条件下意大利蝗呼吸代谢的变化适应机制还未见研究报道。本研究通过测定和分析不同温度条件下意大利蝗呼吸率、代谢率、Q_{10}值以及呼吸商等指标变化特征,旨在阐明温度升高条件下意大利蝗呼吸代谢的变化规律,为揭示气候持续变暖条件下意大利蝗的呼吸代谢适应机制提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 意大利蝗采集

意大利蝗成虫于 2013 年 7 月采自乌鲁木齐南山水西沟(87°57′E,43°78′N),在室温条件下,用冷蒿 *Artemisia frigida* 饲养。

1.2 不同温度条件下意大利蝗呼吸代谢的测定

根据意大利蝗的生物学习性和生长发育特点,实验设置 15,20,25,30 和 35℃ 5 个温度梯度。选取个体大小相近且健康的意大利蝗成虫放入多通道昆虫呼吸仪的呼吸室内(Sable System International Inc.),用水浴锅控制所需的温度条件(HH-S2,金坛市医疗仪器厂)。根据蝗虫个体大小调整进气流速为 125 mL/min,将供试蝗虫静置呼吸室至少 30 min,待 CO_2 释放曲线平稳后开始测定;前期经过摸索在不同时间段内(30,60,90 和 120 s)测试并获得蝗虫一次完整的呼吸活动,即出现 CO_2 释放量的低谷和高峰,最终确定最优时间为 90 s,故实验中每 90 s 记录一次数据,每头蝗虫测试时间为 30 min,数据自动记录到 ExpeData 程序软件中。

每个温度处理重复 2 组实验,每组同时设 3 个平行实验,每个平行实验测试 2 头蝗虫,即每个温度处理 12 头蝗虫。测试完毕,称量蝗虫鲜重并放入 60℃恒温干燥箱内 72 h,至恒重称量其干重,以备计算代谢率。昆虫呼吸仪运行过程中,采用 $CaSO_4$ 干燥剂除去从空气中进入到多通道昆虫呼吸仪的水。

1.3 数据处理

数据分析采用 SPSS13.0 软件,用单因素方差分析检验不同温度处理间意大利蝗的呼吸率(mL O_2/min)、代谢率(mL O_2/g · min)、CO_2 释放率(mL/min)、Q_{10}(每升高 10℃呼吸率的变化幅度)及呼吸商(CO_2 释放率与呼吸率的比值)的差异显著性($P<0.01$)。

2 结果与分析

2.1 不同温度条件下意大利蝗呼吸率的变化特征

呼吸率是指单位时间内个体的耗氧量。图 1 结果表明,随着温度升高,意大利蝗的呼吸率呈逐渐增加趋势($y = 0.0004x^3 - 0.0032x^2 + 0.0079x - 0.0031$, $R^2 = 0.9911$)。15℃时,意大利蝗的呼吸率最低,为 0.0021 mL O_2/min,显著低于 20,25,30 和 35℃意大利蝗的呼吸率($P<0.01$),表明当温度低于 20℃,尤其低于 15℃时将对意大利蝗呼吸率产生显著影响;35℃时的呼吸率最高,为 0.0072 mL O_2/min,显著高于其他温度条件下的呼吸率($P<0.01$),表明当温度超过 30℃,尤其超过 35℃时对意大利蝗的呼吸率有显著影响;在20~30℃温度范围

之间，意大利蝗的呼吸率变化平缓，差异不显著（$P > 0.01$），表明 20～30℃是意大利蝗成虫生长发育的适宜范围。

温度系数 Q_{10} 是指每升高 10℃呼吸率的变化幅度。Q_{10} 值可用来反映呼吸率随温度变化的敏感程度，Q_{10} 值越大，表明昆虫在该温度范围内由温度上升所引起的耗氧率的变幅越大；Q_{10} 值小则表明温度变化对昆虫耗氧率的影响小，说明该温度范围是昆虫适宜的温度条件（包杰等，2013）。由表 1 看出，当温度由 20℃上升到 30℃时，Q_{10} 值最小，为 1.03。25℃升高至 35℃时的 Q_{10} 值最大，为 2.42。当温度从 15℃升高至 25℃时为 1.43。由此判断 20～30℃是意大利蝗适宜的温度范围。

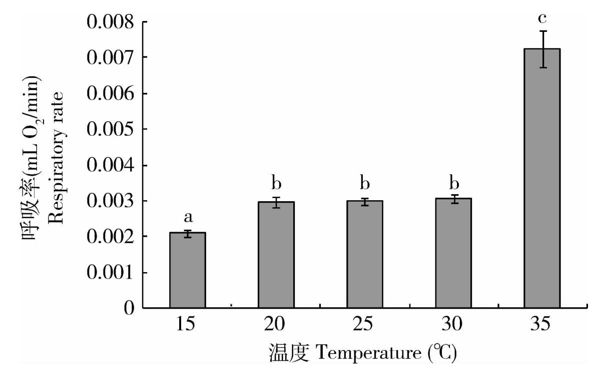


图 1 不同温度下意大利蝗成虫呼吸率的变化

Fig. 1 Changes of the respiratory rate of *Calliptamus italicus* adults at different temperatures

图中数据均为平均值 ± 标准误；柱上不同字母代表差异显著（$P < 0.01$，Duncan 氏多重比较，$df = 14$）；下图同。Data in the figure are mean ± *SE*. Different letters above bars represent significant difference ($P < 0.01$, Duncan's multiple range test, $df = 14$). The same for the following figures.

表 1 不同温度间隔下意大利蝗成虫的 Q_{10} 值

Table 1 Q_{10} value of *Calliptamus italicus* adults at different temperatures

温度间隔（℃）Temperature interval	Q_{10}
15－25	1.43
20－30	1.03
25－35	2.42

2.2 不同温度条件下意大利蝗代谢率的变化特征

代谢率指单位体重的耗氧量。图 2 结果表明，随着温度升高，意大利蝗的代谢率随之增加（$y = 0.0041x^3 - 0.0343x^2 + 0.0907x - 0.0501$，$R^2 = 0.9967$）。15℃时，意大利蝗的代谢率最小，为 0.0107 mL O_2/g・min，显著低于 20，25，30 和 35℃意大利蝗的代谢率（$P < 0.01$），表明当温度低于 20℃，尤其低于 15℃时将对意大利蝗代谢率产生显著影响；35℃时，代谢率最大，为 0.0617 mL O_2/g・min，显著高于其他温度条件下的代谢率（$P < 0.01$），表明当温度高于 30℃，尤其超过 35℃时将对意大利蝗的代谢率产生影响；20～30℃之间，意大利蝗的代谢率变化平缓，差异不显著（$P > 0.01$），表明 20～30℃是意大利蝗成虫呼吸代谢和生长发育适宜的温度范围。

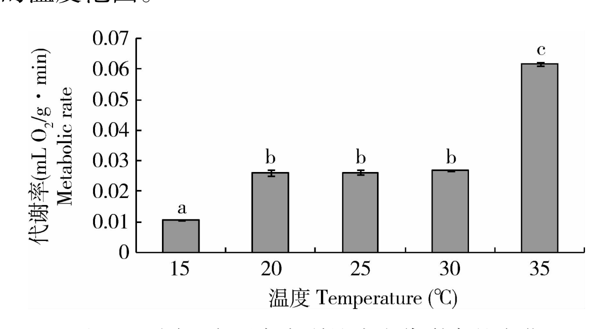


图 2 不同温度下意大利蝗成虫代谢率的变化

Fig. 2 Changes of the metabolic rate of *Calliptamus italicus* adults at different temperatures

2.3 不同温度条件下意大利蝗 CO_2 释放率的变化特征

CO_2 释放率指单位时间内个体的 CO_2 释放量。结果表明，随着温度升高，意大利蝗的 CO_2 释放率呈逐渐增加趋势。由图 3 可看出，15℃时，意大利蝗的 CO_2 释放率最低，为 0.0020 mL CO_2/min，显著低于 20，25，30 和 35℃条件下意大利蝗的 CO_2 释放率（$P < 0.01$），表明当温度低于 20℃，尤其低于 15℃的温度条件将对意大利蝗的呼吸代谢产生影响；35℃时，CO_2 释放率最高，为 0.0068 mL CO_2/min，显著高于其他温度条件下的 CO_2 释放率（$P < 0.01$），表明当温度高于 30℃，尤其超过 35℃的温度条件将对意大利蝗的呼吸代谢有影响；20～30℃之间，意大利蝗的 CO_2 释放率变化幅度小且平缓，差异不显著（$P > 0.01$），说明 20～30℃是意大利蝗成虫呼吸代谢和生长发育适宜的温度范围。

呼吸商（respiratory quotient，RQ）是 CO_2 释放率与呼吸率的比值，常用来作为判断呼吸底物性质的指标（吴坤君和龚佩瑜，1984）。由表 2 看出，随着温度升高，意大利蝗的呼吸商没有明显变化，不同温度处理间差异亦不显著（$P > 0.01$），呼吸商平均值为 0.9450，由此判断，不同温度条件下意大利蝗呼吸消耗的底物主要为糖类物质（Southwood，1978；吴坤君和龚佩瑜，1984）。

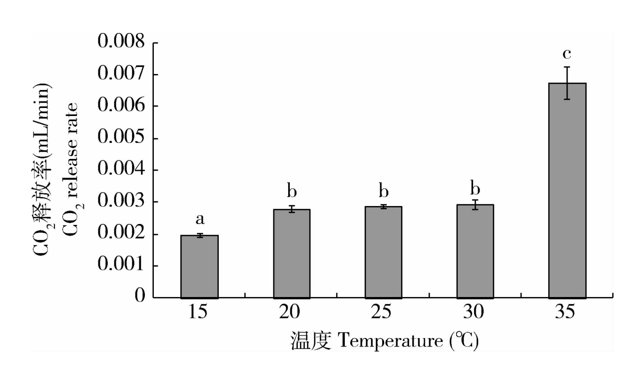


图 3　不同温度下意大利蝗成虫 CO_2 释放率的变化

Fig. 3　Changes of the CO_2 release rate of *Calliptamus italicus* adults at different temperatures

表 2　不同温度下意大利蝗成虫的呼吸商

Table 2　Respiratory quotient of *Calliptamus italicus* adults at different temperatures

温度(℃) Temperature	呼吸商 Respiratory quotient
15	0.9372 ±0.024 a
20	0.9444 ±0.017 a
25	0.9559 ±0.018 a
30	0.9563 ±0.020 a
35	0.9310 ±0.005 a

表中数据均为平均值±标准误；数据后不同字母代表差异显著($P<0.01$, Duncan 氏多重比较, $df=14$)。Data in the table are mean ± SE. Different letters following the data represent significant difference ($P<0.01$, Duncan's multiple range test, $df=14$).

3　讨论

全球气候变暖背景下，新疆气候变化呈现出“总体暖干，局部暖湿”的特征。温度是影响昆虫生长发育最重要的环境因子，课题组前期研究结果表明，新疆草原蝗灾严重发生与新疆气候变暖有显著的相关性(杨洪升等，2007，2008)。新疆北疆是意大利蝗虫灾害的严重发生区，通常于 6 月中下旬进入危害盛期。根据北疆多年气象数据显示，6 月平均气温为 26.5℃，部分地区最高平均温度可达 30℃(张家宝等，2008)，根据意大利蝗蝗卵的发育起点温度(15℃)(乌麻尔别克和熊玲，2007)以及诸多研究结果表明，当超过 5℃就会对栖息于沙漠、荒漠半荒漠的昆虫在孵化、发育、行为等诸多方面产生显著影响(Lighton and Wehner, 1993; Hadley and Quinlan, 1993)，结合新疆北疆近 40 a 的平均温度增长率 0.36～0.37℃/10 a(薛燕等，2003)，本研究的温度范围设置在 15～35℃之间，且以 5℃作为考量影响意大利蝗虫呼吸代谢的温度间隔范围。

根据不同温度条件下昆虫呼吸代谢的变化幅度，可以确定昆虫生长发育适宜的温度范围(戈峰，1991；邱星辉等，1994；高峰等，2007；陈爱瑞等，2011)。某一温度范围内昆虫的呼吸率、代谢率和 CO_2 释放率变化幅度小，且缓慢平稳，则表明该温度范围是昆虫适宜的生长发育条件。陈爱瑞等(2011)通过不同温度条件下沟金针虫 *Pleonomus canaliculatus* 呼吸率的变化特征，确定了 10～20℃是沟金针虫生长和活动的适宜范围；高峰等(2007)测定了不同温度下龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* 的呼吸率和代谢率，确定了龟纹瓢虫的最适生长温度为 25℃；本研究的结果表明 20～30℃是意大利蝗呼吸代谢和生长发育适宜的温度条件。

昆虫呼吸代谢的能源物质主要包括糖类、脂肪和蛋白质，根据能源物质氧化时 CO_2 与 O_2 的比值(呼吸商)，能够判断昆虫在当时环境下的呼吸底物(吴坤君和龚佩瑜，1984)。不同呼吸底物即能源物质在氧化时的呼吸商不同，糖类的呼吸商约为 1.0，蛋白质的呼吸商约为 0.8，脂质的呼吸商通常为 0.7(Southwood, 1978；吴坤君和龚佩瑜，1984)。本研究结果得出，意大利蝗的呼吸商平均值为 0.9450，表明意大利蝗的呼吸底物主要是糖类物质。

意大利蝗是欧亚大陆的代表蝗虫种类，广泛分布于西欧、中亚、西亚、新疆、青海等国家和地区的荒漠、半荒漠草原(Larami, 1967)，并给当地造成了严重的经济、社会和生态损失(张泉等，1995；Latchininsky, 2001a, 2001b；李鸿昌和夏凯龄，2006)。自 20 世纪 80 年代以来，由于全球气候变暖和局部气候异常，导致新疆及周边国家和地区的意大利蝗虫灾害持续暴发，如哈萨克斯坦共和国自 20 世纪 60 年代，草原蝗虫严重发生的面积超过 22 万公顷，直接经济损失超过上亿美元(Latchininsky, 2001a, 2001b)。本研究的结果表明，在不超过 30℃的温度条件下意大利蝗都能保持稳定的呼吸代谢水平，表现出较强的适应性，这也预示着在气候持续变暖背景下，意大利蝗仍将是新疆草原最重要的生物灾害之一。

参考文献(References)

Bao J, Jiang HB, Dong SL, Tian XL, 2013. Progress of studies on respiratory metabolism of echinoderms. *Transactions of Oceanology and Limnology*, (1): 85－89. [包杰, 姜宏波, 董双林, 田相利, 2013. 棘皮动物呼吸代谢研究进展. 海洋湖沼通报, (1): 85－89]

Barton BT, 2010. Climate warming and predation risk during herbivore

ontogeny. *Acta Ecologica Sinica*, 91(10): 2811 – 2818.

Carstens BC, Knowles LL, 2007. Shifting distributions and speciation: species divergence during rapid climate change. *Molecular Ecology*, 16: 619 – 627.

Chen AR, Li KB, Yin J, Cao YZ, 2011. Effects of environmental factors on the respiratory metabolism in larvae of *Pleonomus canaliculatus* (Coleoptera: Elateridae). *Acta Entomologica Sinica*, 54 (4): 397 – 403. [陈爱瑞，李克斌，尹娇，曹雅忠，2011. 环境因子对沟金针虫呼吸代谢的影响. 昆虫学报，54(4): 397 – 403]

Clarke A, Fraser KPP, 2004. Why does metabolism scale with temperature? *Functional Ecology*, 18: 243 – 251.

Gao F, Su JW, Ge F, Wu G, Liu XH, 2007. Effect of temperature on the respiration and metabolism of ladybeetles, *Propylaea japonica*. *Hubei Agricultural Sciences*, 46(4): 562 – 564. [高峰，苏建伟，戈峰，吴刚，刘向辉，2007. 温度对龟纹瓢虫呼吸代谢的影响. 湖北农业科学，46(4): 562 – 564]

Ge F, 1991. Factors that affect the respiratory metabolism of insects. *Entomological Knowledge*, 28(5): 319 – 321. [戈峰，1991. 影响昆虫呼吸代谢的因素. 昆虫知识，28(5): 319 – 321]

Ge F, Chen CM, 1990. The respiratory metabolism and energy expenditure of the brown plant hopper *Nilaparvata lugens* and the spider *Theridion octomaculatum*. *Acta Entomologica Sinica*, 33(1): 35 – 42. [戈峰，陈常铭，1990. 褐飞虱和八斑球腹蛛的呼吸代谢及其能量消耗. 昆虫学报，33(1): 35 – 42]

Gillooly JF, Brown JH, West GB, Savage VM, Charnov EL, 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science*, 293: 2248 – 2251.

Grown SL, Gaston KJ, 2007. Exploring links between physiology and ecology at macro-scales: the role of respiratory metabolism in insects. *Biological Reviews*, 74: 87 – 120.

Guo K, Hao SG, Sun JX, Kang L, 2009. Differential responses to warming and increased precipitation among three contrasting grasshopper species. *Global Change Biology*, 15 (10): 2539 – 2548.

Hadley NF, Quinlan MC, 1993. Discontinuous carbon dioxide release in the eastern lubber grasshopper *Romalea guttata* and its effect on respiratory transpiration. *Journal of Experimental Biology*, 177: 169 – 180.

Hamilton AG, 1964. The occurrence of periodic or continuous discharge of carbon dioxide by male desert locusts (*Schistocerca gregaria* Forskal) measured by an infra-red gas analyzer. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 160: 373 – 395.

Johnson DM, Büntgen U, Frank DC, Kausrud K, Haynes KJ, Liebhold AM, Esper J, Stenaeth NC, 2010. Climatic warming disrupts recurrent Alpine insect outbreaks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107 (47): 20576 – 20581.

Kang L, Chen B, Wei JN, Liu TX, 2009. Roles of thermal adaptation and chemical ecology in *Liriomyza* distribution and control. *Annual Review of Entomology*, 54: 127 – 145.

Kolluru GR, Chappell MA, Zuk M, 2004. Sex differences in metabolic rates in field crickets and their dipteran parasitoids. *Journal of Comparative Physiology B*, 174: 641 – 648.

Larami EG, 1967. Locusts of Kazakhstan, Central Asia and Adjacent Territories. Association for Applied Acridology International, University of Wyoming, Larami, WY. 387.

Latchininsky AV, 2001a. Problems and progress emerge from the acridid outbreak in Kazakhstan. In: Advances in Applied Acridology, 2001. Association for Applied Acridology International, University of Wyoming, Larami, WY. 15 – 16.

Latchininsky AV, 2001b. Environmental Factors Governing Population Dynamics of Rangeland Grasshoppers: The First Application of GIS and Remote Sensing to Acridology in Russia. PhD Dissertation, University of Wyoming, Larami, WY.

Li HC, Xia KL, 2006. Fauna Sinica. Insecta, Vol. 43. Science Press, Beijing. 576 – 578. [李鸿昌，夏凯龄，2006. 中国动物志: 昆虫纲(第 43 卷). 北京: 科学出版社. 576 – 578]

Lighton JRB, Joos B, 2002. Discontinuous gas exchange in a tracheate arthropod, the pseudoscorpion *Garypus californicus*: occurrence, characteristics and temperature dependence. *Journal of Insect Science*, 2(23): 1 – 4.

Lighton JRB, Wehner R, 1993. Ventilation and respiratory metabolism in the thermophilic desert ant, *Cataglyphis bicolor* (Hymenoptera, Formicidae). *Journal of Comparative Physiology B*, 163: 11 – 17.

Maistrella L, Lombrosob L, Pedroni E, Reggiani A, Vanin S, 2006. Summer raids of *Arocatus melanocephalus* (Heteroptera, Lygaeidae) in urban buildings in Northern Italy: is climate change to blame? *Journal of Thermal Biology*, 21(8): 594 – 598.

Moffatt L, 2000. Changes in the metabolic rate of the foraging honeybee: effect of the carried weight or of the reward rate? *Journal of Comparative Physiology A*, 186: 299 – 306.

Pang XF, 1963. Effect of temperature on oxygen uptake of several insects. *Entomological Knowledge*, 2: 56 – 63. [庞雄飞，1963. 温度对几种昆虫吸氧量的影响. 昆虫知识，2: 56 – 63]

Qiu XH, Li HC, Yang ZG, 1994. Respiratory metabolism and population energy expenditure of grasshopper *Chorthippus dubius* (Zub.). *Acta Entomologica Sinica*, 37(4): 417 – 425. [邱星辉，李鸿昌，杨宗贵，1994. 狭翅雏蝗的呼吸代谢及其种群的呼吸能量消耗. 昆虫学报，37(4): 417 – 425]

Southwood TRE, 1978. Ecological Methods with Particular Reference to the Study of Insect Populations. Halsted Press, New York. 87 – 116.

Thomson LJ, Macfadyen S, Hoffmann AA, 2010. Predicting the effects of climate change on nature enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52(3): 296 – 306.

Trumble TJ, Butler CD, 2009. Climate change will exacerbate California's insect pest problems. *California Agriculture*, 63 (2): 73 – 78.

Wu KJ, Gong PY, 1984. Respiratory metabolism of the cotton bollworm, *Heliothis armigera* (Hubner). *Acta Entomologica Sinica*, 27 (2): 128 – 135. [吴坤君，龚佩瑜，1984. 棉铃虫的呼吸代谢. 昆虫学报，27(2): 128 – 135]

Wu MBK, Xiong L, 2007. Determination of developmental temperature and effective accumulated temperature on *Oedaleus decorus decorus*

(Germar), *Calliptamus italicus* L. and *Gomphocerus sibiricus* L. *Xinjiang Husbandry*, (Suppl.): 30 - 31. [乌麻尔别克, 熊玲, 2007. 黑条小车蝗、意大利蝗和西伯利亚蝗发育起点温度及有效积温测定. 新疆畜牧业, (增刊): 30 - 31]

Xue Y, Han P, Feng GH, 2003. Change trend of the precipitation and air temperature in Xinjiang since recent 50 years. *Arid Zone Research*, 20(2): 127 - 130. [薛燕, 韩萍, 冯国华, 2003. 半个世纪以来新疆降水和气温的变化趋势. 干旱区研究, 20(2): 127 - 130]

Yang HS, Ji R, Wang T, 2008. Atmospheric circulation background and long-term prediction of grasshopper occurrence in Xinjiang. *Chinese Journal of Ecology*, 27(2): 218 - 222. [杨洪升, 季荣, 王婷, 2008. 新疆蝗虫发生的大气环流背景及长期预测. 生态学杂志, 27(2): 218 - 222]

Yang HS, Ji R, Xiong L, Yuan H, 2007. Effect of meteorological factors on locust occurrence in the north of Mt. Tianshan in Xinjiang. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(4): 517 - 520. [杨洪升, 季荣, 熊玲, 原慧, 2007. 气象因子对北疆地区蝗虫发生的影响. 昆虫知识, 44(4): 517 - 520]

Zhang JB, Chen HW, Mao WY, Zhao YZ, Jiang YA, Xin Y, Chen Y, Wang H, Wang T, Li YP, Li L, 2008. The elementary assessment of climate change and environment in Xinjiang. *Desert and Oasis Meteorology*, 2(4): 1 - 11. [张家宝, 陈洪武, 毛炜峄, 赵逸舟, 江远安, 辛渝, 陈颖, 王慧, 王铁, 李元鹏, 李兰, 2008. 新疆气候变化与生态环境的初步评估. 沙漠与绿洲气象, 2(4): 1 - 11]

Zhang Q, Qiao Z, Xiong L, BaHaTiYaEr DWT, Zhao Y, Dang HC, Zhang XS, Xiao HW, 1995. Research on the biological characteristics of adult *Calliptamus italicus*. *Xinjiang Agricultural Sciences*, (6): 256 - 258. [张泉, 乔璋, 熊玲, 巴哈提亚尔·达吾提, 赵勇, 党惠财, 张新生, 肖宏伟, 1995. 意大利蝗成虫生物学特性研究. 新疆农业科学, (6): 256 - 258]

Ziter C, Robinson EA, Newman JA, 2012. Climate change and voltinism in Californian insect pest species: sensitivity to location, scenario climate and model choice. *Global Change Biology*, 18(9): 2771 - 2780.

(责任编辑: 袁德成)